

AGRICULTURE 4.0 - THEORY AND PRACTICE

Martina Valentová¹

¹ Ing. Martina Valentová, Fakulta ekonomická Západočeské univerzity, Katedra financí a účetnictví, mvalent@kfu.zcu.cz, ORCID 0000-0002-4989-0281

Abstract: Agriculture is one of the basic building cornerstones of human civilisation. Like other human activities, agriculture has undergone changes over the centuries and has evolved with human knowledge. This paper addresses the issue of the latest stage of agricultural development, which is currently referred to as 'Agriculture 4.0'. This concept, like Industry 4.0, benefits from the rapid development of technology. The concept of Agriculture 4.0 faces the challenge of feeding a growing population with limited resources while adhering to the principles of sustainability (all under changing natural conditions caused by global climate change). The paper focuses on the theoretical issue of the concept of Agriculture 4.0 and also presents the actual practical applications of Agriculture 4.0 (with a focus on small and medium-sized entrepreneurs in the Czech Republic, as the largest category of business entities in the economy). On the basis of a literature research, the definition of the concept is discussed, as well as the positive and negative effects of Agriculture 4.0 for different areas. Obstacles to its implementation on a wider scale are also discussed.

Keywords: agriculture 4.0, digitalization, industry 4.0, smart farming, sustainability

JEL Classification: Q01, Q1, Q56

ÚVOD

Zemědělství provází lidskou společnost od jejího prvopočátku a společně s ní se i rozvíjí, tento vztah trvá už tisíce let. Jedná se o nedílnou součást všech společností světa a základní stavební kámen jejich přežití. Protože lidská společnost je jen tak silná, jako je její schopnost uživit se.

Zemědělství obecně představuje domestikaci rostlin a živočichů a využívání technik pro efektivnější produkci. Právě pěstování plodin, sběr a lov, lze označovat jako „zemědělství 1.0“. Kovács & Husti (2018) uvádějí, že toto zemědělství bylo založené na velkém množství pracovní síly a projevovalo se i nízkou produktivitou. Hrubá tažná síla zvířat i lidí byla s postupujícím rozvojem technologií čím dál tím více nahrazována technikou – vzniká „zemědělství 2.0“ nebo taktéž britská zemědělská revoluce. Mezi 40. a 70. léty 20. století se díky tzv. Zelené revoluci podařilo navýšit produkci celosvětového zemědělství a předejít hladovění, hovoří se taktéž o zavedení „zemědělství 3.0“ (Liu et al., 2020). Tento koncept je spojován se systémy zavlažování, moderními ochrannými prostředky proti škůdcům a syntetickými hnojivy. Důraz byl kladen mimo jiné i na snižování nákladů a navýšení ziskovosti produkce. Rozvoj lidstva a jeho potřeb, ale i využívaných technologií vedl k současné revoluci, která je označována jako „zemědělství 4.0“ (Kovács & Husti, 2018; Liu et al., 2020; Rapela, 2019). Tomu předcházely některé další tendence – v 80. letech 20. století se objevil koncept „precizního zemědělství“ – tedy zemědělství zaměřeného na individuální přístup k jednotlivým polím, plodinám i zvířatům s cílem využít vhodně přírodní podmínky a eliminovat negativní dopady zemědělských činností. Limitací realizace tohoto přístupu v širším hledisku byla omezenost tehdejších technologických zdrojů. Precizní zemědělství je součástí koncepce zemědělství 4.0 (Pierce & Nowak, 1999; Silveira et al., 2021). Souběžně s rozvojem zemědělství dochází i k rozvoji průmyslu, a proto se lze ve světě velmi často setkat s pojmem „průmysl 4.0“.

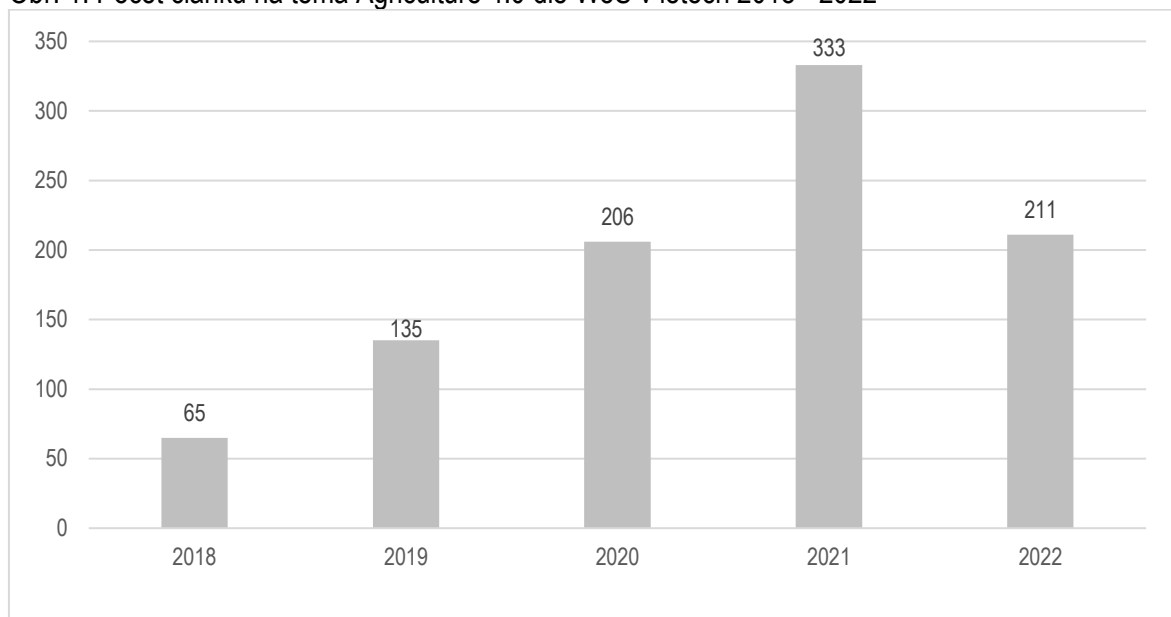
Cílem tohoto článku je představit pojem zemědělství 4.0, jeho historii i současné vnímání konceptu odborníky, a dále jeho praktické aplikace, včetně jejich pozitiv a negativ.

1. METODIKA

Pro splnění stanoveného cíle bylo využito rozsáhlé rešerše zaměřené na teoretické, i prakticky orientované publikace zabývající se problematikou zemědělství 4.0. Pro vyhledávání byly využity databáze Scopus, Web of Science (dále WoS), ResearchGate a Google Scholar. Vzhledem k malému počtu článků s nadpisem obsahujícím slovo Agriculture 4.0 byla využita možnost vyhledávání podle tématu, kde byl pojem „Agriculture 4.0“. Cílem bylo sledovat poslední publikované informace, proto většina zdrojů využitých v textu není starší 5 let. Cílem příspěvku bylo jak obecné poznání problematiky, tak i její lokální zaměření na území České republiky. A to proto, že bylo v rámci rešerše využíváno nejen anglicky psaných textů, ale i těch českých (případně textů od českých autorů).

Problematika zemědělství 4.0 se začala v literatuře objevovat už v polovině minulého století. S postupným rozvojem technologií se dostávala stále více do popředí zájmu autorů z různých oborů (podobně tomu bylo u průmyslu 4.0). Databáze WoS eviduje za období od roku 2018 do roku 2022 celkem 950 článků na téma Agriculture 4.0 (počet článků publikovaných v roce 2022 je k datu vyhledávání – 10. 9. 2022). Rozložení v čase ukazuje obrázek 1.

Obr. 1: Počet článků na téma Agriculture 4.0 dle WoS v letech 2018 - 2022



Zdroj: Vlastní zpracování dle Web of Science – Results Analysis, 2022

Dle kategorizace databáze WoS spadalo nejvíce článků do kategorie Environmental Sciences a Multidisciplinary Sciences. Kompletní přehled je uveden na obrázku 2.

Obr. 2: Kategorie článků dle WoS

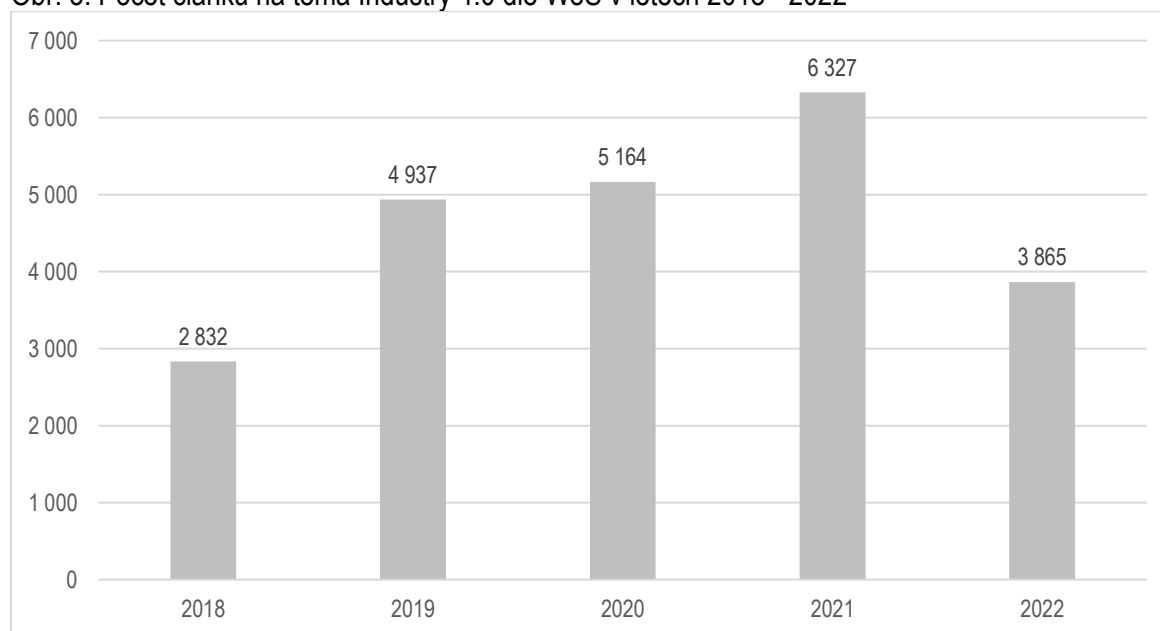


Zdroj: Web of Science – Results Analysis, 2022

Větší počet článků byl nalezen za pomoci vyhledávání pomocí klíčových slov, které se zemědělstvím 4.0 úzce souvisí a v publikacích se lze setkat i s jejich vzájemnou záměnou, jako je např. digital farming, precision farming, precision agriculture, decision agriculture a digital agriculture. Jak uvádějí Klerkx et al. (2019) tyto pojmy představují jednotlivé koncepty lišící se formou digitalizace a jejím zaměřením (potravinové systémy atd.). Tyto dílčí koncepty zaštiťuje obecně pojem zemědělství 4.0.

Při srovnání počtu publikací zabývajících se problematikou zemědělství 4.0 a průmyslu 4.0, je patrné, že problematika průmyslu 4.0 je zkoumána mnohem častěji. Vzhledem k tomu, že průmysl 4.0 se vztahuje k většímu počtu odvětví, není toto zjištění překvapující, konkrétní počty zobrazuje obr. 3 níže.

Obr. 3: Počet článků na téma Industry 4.0 dle WoS v letech 2018 - 2022



Zdroj: Vlastní zpracování dle Web of Science – Results Analysis, 2022

2. PŘEHLED LITERATURY

Zemědělství 4.0 směřuje k větší míře využívání robotizace a autonomních systémů a následného využívání získaných dat k lepší a efektivnější činnosti. Stejně jako u průmyslu 4.0 neexistuje jedna jednotná definice pojmu zemědělství 4.0, v základních bodech však nacházejí jednotliví autoři shodu. Zhai et al. (2020) uvádějí, že zemědělství 4.0 využívá moderní technologie (big data, cloud computing, umělá inteligence, ...) pro zlepšení efektivity jednotlivých zemědělských činností. V souvislosti s tím uvádí Evropský parlament (n.d.), že moderní technologie vedou k získávání většího množství kvalitnějších dat – dochází k tzv. digitalizaci zemědělství. Díky těmto datům lze lépe kontrolovat biologické procesy, které jsou ovlivňovány vlivy jako je např. počasí. Díky získaným datům lze také jednotlivé procesy lépe řídit a rychleji reagovat. Yahya (2018) doplňuje, že obecně lze metody zemědělství 4.0 klasifikovat jako technicko-vědecké, ekonomické, ale i politické. Hovoří o konkrétních inovacích zemědělských strojů a metod, technik pro dosažení úspor z rozsahu výroby či vytvoření nových trhů. Podle Raj et al. (2021) si zemědělství 4.0 klade za cíl změnit rostlinnou výrobu a zemědělské hospodaření za pomoci lepší správy zemědělských vstupů. Podle Singh & Yogi (2022) se zemědělství 4.0 především zaměřuje na precizní zemědělství – zdokonalení pěstitelských postupů, výběr a šlechtění odolnějších a výnosnějších plodin, ale i cílenější používání pesticidů a hospodaření s vodou, tak aby byly minimalizovány negativní dopady na životní prostředí.

Jak uvádí Clercq et al. (2018) zemědělství 4.0 musí kombinovat vědu a techniku, ale zároveň být „zelené“. Čtvrtá zemědělská revoluce by dle Rose et al. (2020) měla být v souladu s principy udržitelnosti, tak aby byly zajištěny přínosy sociální (pro lidskou společnost), produkční (potraviny), tak i pro planetu (environmentální). Což vyplývá z toho, že zemědělství 4.0 reaguje na řadu faktorů, jako jsou právě rostoucí populace a s tím související rostoucí požadavky na potravinovou soběstačnost, a především dlouhodobou udržitelnost této produkce (Shamshiri et al., 2018). Na základě toho lze konstatovat, že jedním z cílů koncepce zemědělství 4.0 je navýšit produkci potravin. Clercq et al. (2018) uvádějí konkrétně nutnost navýšit produkci potravin o 70 % do roku 2050, a to za použití menšího množství energií, hnojiv, pesticidů a dalších látek.

Dalším cílem zemědělství 4.0 je rozumné přerozdělování přírodních zdrojů – zdroje pro zemědělskou produkci jsou omezené a na světě je jich konečné množství. Přírodní zdroje jsou činností člověka silně narušené – například se uvádí, že 25 % zemědělské půdy je silně degradované, vodní zdroje jsou často narušovány a znečišťovány atd. (Dong et al., 2015; Zhai et al., 2020). Kovács & Husti (2018) uvádějí, že zemědělství 4.0 především připravuje cestu pro další potenciální rozvoj zemědělství, které bude označováno jako zemědělství 5.0 a které bude založeno na vysokém stupni robotizace, využívání bezobslužných systémů a některých forem umělé inteligence.

Cílů, které si stanovilo zemědělství 4.0 má být dosaženo za pomoci moderních trendů jako je precizní zemědělství, blockchain, internet věcí (IoT), drony, senzory (a dálkové snímání), inteligentní palubní počítače, robotika, komunikační technologie, cloudová řešení, analýzy big dat a různé systémy na podporu rozhodování (Kong et al., 2018; Singh & Yogi 2022). Právě automatický sběr dat a jejich následná analýza může generovat znalosti potřebné pro rychlé a správné rozhodování podnikatelů v zemědělství. Toto rozhodování může vést k navýšení ziskovosti zemědělství a zároveň dosažení ekonomické, sociální i environmentální udržitelnosti zemědělské činnosti (Scuderi et al., 2022). Basso & Angle (2020) zmiňují, že digitalizace zemědělství souvisí se začleněním digitálních a geoprostorových informačních technologií (senzory, automatizace za účelem vyhodnocování a řízení využívání půdy, ...) do zemědělských činností. Z konkrétních řešení lze zmínit pokročilé automatizační funkce (navádění při setí, provádění hnojení a postřiků), automatizované systémy na dojení a krmení zvířat či řízená prostředí (skleníky atd.). Tyto systémy mají za cíl mimo jiné i snížit vliv lidského faktoru a s tím spojené chybovosti a nehospodárnosti (Araújo et al., 2021; Kovács & Husti, 2018). Talavera et al. (2017) uvádí, že lze aplikace moderních metod v zemědělství rozdělit do 4 základních skupin na monitorovací, řídicí, predikční a logistické.

Tab. 1: Přehled vybraných definic pojmu zemědělství 4.0 a oblastí

Autor (rok)	Definice	Oblast
Zhai et al. (2020, p. 1)	<i>„... the evolution of agriculture steps into Agriculture 4.0, thanks to the employment of current technologies like Internet of Things, Big Data, Artificial Intelligence, Cloud Computing, Remote Sensing, etc. The applications of these technologies can improve the efficiency of agricultural activities significantly.“</i>	Zemědělství 4.0 Smart Farming Digitální technologie
Yahya (2018, p. 143)	<i>„Industrial agriculture is a modern form of farming that refers to the industrialized production of livestock, poultry, fish, and crops. The methods of industrial agriculture are techno-scientific, economic, and political. They include innovation in agricultural machinery and farming methods, genetic technology, ...“</i>	Zemědělství 4.0 Smart Farming Digitální technologie
Raj et al. (2021, p. 1)	<i>„Agriculture 4.0 improves the organization of farm inputs (such as fertilizers, fuel, seeds and herbicides) through distributed farm management practices.“ „...with better management of agricultural inputs, Agriculture 4.0 aims to revolutionize crop production and farm profitability.“</i>	Zemědělství 4.0 Řízení vstupů
Singh & Yogi (2022, p. 87)	<i>„Agriculture 4.0 focuses majorly on precision agriculture.“ „The rapid developments on the Internet of Things-based devices have impacted every industry including Agriculture.“</i>	Zemědělství 4.0 Precizní zemědělství
Rose et al. (2021, p. 4)	<i>„... the fourth agricultural revolution (agriculture 4.0) should be guided by the concept of sustainable intensification (SI), holistically defined, in order that benefits are provided to people, production, and the planet.“</i>	Zemědělství 4.0 Udržitelné zemědělství
Kong et al. (2019, p. 2)	<i>“ Agriculture 4.0 has the potential to enhance precision farming and improve farm system responsive performance and precise decision-making in response to operational uncertainties and real-time data updates.“</i>	Zemědělství 4.0 Precizní zemědělství
Zambon et al. (2019, p. 9)	<i>„The fusion of precision agriculture and the Internet of farming leads to Agriculture 4.0 (or digital agriculture), which interconnects different technologies aimed at improving yield and sustainability of crops, increasing working conditions, and the quality of production and processing.“</i>	Zemědělství 4.0 Precizní zemědělství Digitální technologie
Scuderi et al. (2022, p. 2)	<i>„Through the Internet of Things and big data in agribusiness, where “Precision Farming” solutions (IoT sensors, mobile devices, smart tractors, robots, drones) and “smart farming” solutions (management software,</i>	Zemědělství 4.0 Precizní zemědělství Digitální technologie

<i>analytics, cloud) are being integrated, a model of "Agriculture 4.0" is being created.</i>

Zdroj: vlastní zpracování, 2022

Jak je patrné z Tab. 1 i přehledu literatury výše, v současné době neexistuje jedna globálně uznávaná definice pojmu zemědělství 4.0. Jak zmiňují Klerkx et al. (2019) či Beluhova-Uzunova & Dunchev (2022), zemědělství 4.0 je pojmem stále mladým a rozvíjejícím se.

Zemědělství všude na Zemi je závislé na přírodních podmínkách (klimatických podmínkách, kvalitě půdy, nadmořské výšce aj.), které lidé nedokážou ovlivnit. Zhai et al. (2020) uvádí v této souvislosti jako další cíl zemědělství 4.0 přizpůsobení se klimatickým změnám, protože zemědělská produkce je v této oblasti vysoce citlivá. Specifikem zemědělství je dále také biologický charakter výroby, čímž se zemědělská produkce liší od ostatní produkce. Základem jsou probíhající biologické procesy v rostlinách i živočiších, jejich schopnost růst a množit se (reprodukovat) a tato schopnost je pouze omezeně ovlivnitelná (při aktuálním stavu lidského poznání). Reprodukční cyklus taktéž ovlivňuje délku výrobního cyklu – tento cyklus může být částečně ovlivňován (například šlechtěním). Reprodukční cyklus taktéž definuje sezónní charakter zemědělské výroby a nemožnost flexibilní reakce na změny spotřebitelských preferencí. Obecně lze označit zemědělskou výrobu za vysoce rizikovou a hlavní rizika lze rozdělit na genetická, nákazová a klimatická (Dvořáková, 2014).

Půda je základním prvkem především pro rostlinnou produkci. Jedná se o neustále se měnící ekosystém. Mezi hlavní problémy v souvislosti s půdou na území České republiky lze označit vodní a větrnou erozi, ztrátu organické hmoty, degradaci utužením, okyselování (acidifikace) půdy, zastavování a zasolování půdy a kontaminaci půdy. Příčiny těchto problémů jsou především velká monokulturní pole, absence přírodních předělů, úbytek biotopů a mimoprodukčních ploch a nevhodně zvolené druhy plodin (eAGRI.cz, 2020; Hrabalová, 2019). Doran & Zeiss (2000) uvádějí, že půda funguje v rámci ekosystému jako zdroj živin, udržuje rostlinnou a živočišnou produkci a podporuje zdraví rostlin, zvířat a s tím související kvalitu ovzduší. Tahat et al. (2020) uvádějí, že „zdraví“ půdy je její vnitřní vlastností a kvalita půdy je její vnější charakteristikou.

Zemědělství 4.0 by mohlo přinést velmi kladné vlivy na zdraví a kvalitu půdy a zabránit tak její další degradaci. Dálkové sledování definovaných půdních parametrů (např. obsah živin v půdě, pH půdy, teplota, vlhkost) bez nutnosti přímé přítomnosti člověka či využívání těžké techniky je konkrétním praktickým způsobem jak zemědělství 4.0 přispívá k udržitelnému hospodaření (Talavera et al., 2017). Zdravá a kvalitní půda je základem pro množství a kvalitu vyprodukovaných rostlin a jejich plodin (minimalizace ztrát), dále přispívá ke snížení nutnosti hnojení a další péče ze strany lidí a tím přispívá i ke snížení nákladů (Isaac et al., 2016; Talavera et al., 2017). Používání nadměrného množství chemických prostředků (proti škůdcům, hnojení atd.) přispívá ke kontaminaci půdy a taktéž může způsobovat snižování kvality zemědělské produkce (Zhai et al., 2020). Na druhou stranu je nutné podotknout, že hnojení je v rostlinné produkce velmi důležité. Hnojivo je směs přírodního nebo i syntetického původu obsahující určité látky, které přispívají k lepší prosperitě rostlin. Nadměrné využívání těchto látek způsobuje například zvýšené emise skleníkových plynů (stejně tak jako nadměrné množství chovaného skotu, který taktéž během svého života produkuje oxid uhličitý). Nevhodné aplikace hnojiv taktéž mohou znečišťovat vodní zdroje. V této oblasti zemědělství 4.0 může přispívat k zpřesnění hnojení především díky minimalizaci potřebného množství a přesnějšího zacílení na oblasti, které to potřebují nejvíce (Araújo, 2021).

Dalším klíčovým prvkem pro život na zemi je voda. Stejně jako u půdy jsou stanovena kritéria hodnotící kvalitu vody a její zdravotní nezávadnost pro člověka. V zemědělství se voda využívá k mnoha účelům a zemědělské činnosti (stejně jako jiné lidské činnosti) kvalitu vody významně ovlivňují. Zemědělství 4.0 umožňuje s pomocí nových technologií systematicky analyzovat kvalitu vody, data rychle přenášet, aby mohla být rychle zpracována. Díky tomu umožňuje uživatelům rychle reagovat na případné negativní události a pomáhat jim i s běžným rozhodováním (Araújo, 2021). Kromě sledování kvality se nabízí i možnost dálkového sledování množství vody v krajině či plánování přesnějších systémů zavlažování (Moteleone et al., 2019).

3. VÝZVY PRO ZAVÁDĚNÍ ZEMĚDĚLSTVÍ 4.0 V PROSTŘEDÍ SMES

Kromě teoretických konstruktů je vhodné sledovat i jejich uplatnitelnost a realizaci v prostředí praxe. Způsob přijímání principů zemědělství 4.0 se bude lišit dle míry vyspělosti země. Mezi další vlivy, lze zahrnout vzdělanost obyvatelstva (a tím i pracovní síly), rozvinutost a dostupnost technologií, přírodní vlivy zvyklosti a tradice. Lze hovořit o faktorech spojovaných s danou oblastí např. státem, ale i dílčími subjekty ve společnosti. Zemědělství 4.0 může ovlivňovat migraci obyvatelstva za prací i umožnit jednotlivým zemědělcům získání většího množství volného času, a tím pozitivně ovlivňovat kvalitu jejich života (Barret & Rose, 2020; Rose & Chilvers, 2018).

Významným činitelem v přijímání a realizaci principů zemědělství 4.0 je například i státní zřízení, legislativa či vláda a její přístup k této problematice a případná podpora (i finanční). Schopnost a možnosti přijmout principy zemědělství 4.0 a následně je realizovat budou odlišné taktéž u podniků různé velikosti. Velké podniky tvoří minoritní část všech subjektů v ekonomice. Největší počet tvoří mikro, malé a střední podniky, v literatuře a praxi se lze setkat se zkratkou SME (dle klasifikace podniků vydané evropskou komisí v roce 2008, která je závazná pro všechny členské státy EU – v nařízení byla stanovena 3 kritéria a hodnoty, které musí podnik splňovat, aby do dané kategorie spadal). V České republice tvoří tyto subjekty 99,92 % všech podnikatelských entit a v EU je toto číslo obdobné (Straková et al., 2020; MPO, 2021). Tyto subjekty jsou významným zaměstnavatelem, přispívají k rozvoji venkovských oblastí, jsou flexibilní a v mnoha případech jsou i nositeli inovací (Loizou et al., 2019; Straková et al., 2020).

Digitalizace všem společnostem nabízí mnoho příležitostí v oblastech inovací, růstu, posílení konkurenceschopnosti, ale i rozšíření možnosti expanze na globální trhy. V tomto prostředí bude schopnost zemědělství plnit stanovené cíle a udržet schopnost země fungovat a uživit lidskou populaci silně vázána na schopnost inovovat produkční systémy. Není otázkou, jestli má zemědělství tyto nové technologie a trendy přijímat, ale spíše, jak může plně využít jejich potenciál a výhody, které přinášejí. Ač se zemědělství značně liší od jiných oblastí, moderní technologie přinášejí benefity i do této oblasti (Bogavac, et al., 2020; Kovács & Husti, 2018).

Dále je nutné uvažovat, že na rozdíl o průmyslových inovací využívaných např. na výrobních linkách, se zařízení využívaná v zemědělství musí vypořádat se specifickými podmínkami, které jsou velmi variabilní. Ramin et al. (2018) uvádějí, že pro další vývoj zařízení (především robotických) pro využití v zemědělství, bude potřeba velké multioborové a multidisciplinární spolupráce napříč obory. Přitom však veškerá zařízení zároveň musejí být cenově dostupná, spolehlivá a umožňovat efektivní provoz. Z těchto důvodů, dle autorů, nelze v blízké době počítat s plošným nástupem plně automatizovaného zemědělství.

Částečně jsou v některých podnicích principy zemědělství 4.0 již realizovány, či postupně zaváděny. Na toto téma ASMP ČR (2019) realizovalo dotazování mezi MSP v České republice s cílem zjistit četnost využívání zemědělství 4.0 a přístup zemědělců k digitalizaci. Z výsledků je patrné, že 80 % dotazovaných využívá v zemědělství moderní technologie (především GPS systémy, meteostanice, mapové systémy atd.). Oproti tomu robotizace a větší automatizace je především kvůli vysokým nákladům využívána u minima subjektů. Účastníci tohoto dotazování potvrzují tvrzení, že modernizace zemědělství může pomoci s nedostatkem zaměstnanců v tomto odvětví.

Zemědělství 4.0 nepřináší pouze pozitiva, ale je spojeno i s negativními dopady či potenciálními riziky. Barret & Rose (2020) zmiňují například narušení vztahu člověka s půdou/přírodou jako celkem, nedostatek znalostí a zkušeností zemědělců s moderními technologiemi či jejich neochotu se učit novým věcem. Dalším negativem, které Barret & Rose (2020) uvádějí na základě provedeného šetření je nedostatek finančních prostředků a lidských kapacit pro pořízení, zavedení a případné opravy nových technologií. V souvislosti s tím Wiseman et al. (2019) zmiňuje, že zemědělci se mohou spíše cítit inovacemi a novými technologiemi ohroženi.

ZÁVĚR

Zemědělství 4.0 je další důležitou, a právě probíhající etapou v historii zemědělství ale i celé společnosti. Ve své podstatě zemědělství 4.0 ovlivňuje nejen zemědělství, ale i na něj navázaná odvětví a v konečném důsledku životy běžných lidí. Koncept zemědělství 4.0 je úzce spojen s rozvojem technologií a jejich využíváním s cílem navýšit efektivitu jednotlivých činností a optimalizovat spotřebu vstupů a maximalizovat výstupy (produkce potravin). Tento koncept je úzce spjat s trvalou udržitelností, která je aktuálním celospolečenským tématem. Kromě zemědělství samého přesahuje i do oblasti sociální či ekonomické. Tento příspěvek se zaměřoval na vysvětlení pojmu zemědělství 4.0 – představení hlavních definic a oblastí z pohledu teoretického, ale i představení praktických aplikací principů zemědělství 4.0. Jak potvrzuje provedená analýza koncept zemědělství 4.0 (stejně jako průmysl 4.0) je relativně novým pojmem, který se neustále vyvíjí a nemá doposud pevně stanovenou definici a stejně tak není kompletně prozkoumán a objasněn. Předložená analýza ukazuje, že pro uchopení a pochopení pojmu zemědělství 4.0 je nutné propojení mnoha různých vědních oborů. Předložené definice různých autorů poukazují na shodné i odlišné body definic i oblastí, kterým se dle autorů zemědělství 4.0 věnuje. Na základě literární rešerše byly představeny některé bariéry pro zavedení zemědělství 4.0, ale i příležitosti, které s sebou tento koncept přináší (se zaměřením na specifika České republiky). Zemědělství 4.0 je konceptem relativně mladým, který se neustále vyvíjí, a tak i jeho praktické rozšíření není tak časté (a tudíž jeho efekty nejsou komplexně popsány). Aktuálně stojí v popředí zájmu jak výzkumníků, tak podnikatelů, kteří z jeho aplikací mohou profitovat.

Acknowledgement

Tento dokument vznikl v rámci projektu SGS-2020-026 "Ekonomická a finanční transformace v kontextu digitální společnosti".

ZDROJE

- AMSP ČR. (2019). *Digitální farma – Srpen 2019 Závěrečná zpráva*. Dostupné 10. 09. 2022 z http://amsp.cz/wp-content/uploads/2019/08/Digita%CC%81ni%CC%81-farma_v%C3%BDsledky-kom.-AMSP-%C4%8CR.pdf
- Araújo, S. O., Peres, R. S., Barata, J., Lidon, F., & Ramalho, C. J. (2021). Characterising the Agriculture 4.0 Landscape—Emerging Trends, Challenges and Opportunities. *Agronomy*, 11(4), 667. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040667>
- Barret, H. & Rose, D. Ch. (2020). Perceptions of the Fourth Agricultural Revolution: What's In, What's Out, and What Consequences are Anticipated? *Sociologia Ruralis*, 62(2), 162-189. <https://doi.org/10.1111/soru.12324>
- Basso, B., & Antle, J. (2020). Digital agriculture to design sustainable agricultural systems. *Nature Sustainability*, 3(4), 254–256. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0510-0>
- Beluhova-Uzunova, R. & Dunchev, D. (2022). AGRICULTURE 4.0 – CONCEPTS, TECHNOLOGIES AND PROSPECTS. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 22(2), 97-104. https://managementjournal.usamv.ro/pdf/vol.22_2/volume_22_2_2022.pdf
- Bogavac, M., Prigoda, L., & Cekerevac, Z. (2020). SMEs digitalization and the sharing economy. *MEST Journal*, 8(1), 36-47. <https://doi.org/10.12709/mest.08.08.01.05>
- Clercq, M. D., Vats, A., & Biel, A. (2018). *Agriculture 4.0: The future of farming technology*. Oliver Wyman. <https://www.worldgovernmentsummit.org/api/publications/document?id=95df8ac4-e97c-6578-b2f8-ff0000a7ddb6>

- Dong, C., Huang, G., Cheng, G. H., & Zhao, S. (2018). Water resources and farmland management in the Songhua River watershed under interval and fuzzy uncertainties. *Water Resources Management*, 32, 4177-4200, <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2035-0>
- Doran, J. W., & Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15(1), 3–11. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00067-6)
- Dvořáková, D. (2014). Postavení zemědělství v rámci národního hospodářství a specifika zemědělské činnosti. *Auditor*, 14(2), 10-13.
- eAGRI.cz. (2020). *Degradace půd*. Dostupné 4. 09. 2022 z <http://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud>
- Evropský parlament. (n.d.). *Digitalisation*. Dostupné 10. 09. 2022 z <https://www.europarl.europa.eu/thinktank/infographics/precisionagriculture/public/fields/digitalisation.html>
- Hrabalová, A. (2019). Udržitelný rozvoj zemědělství – nutnost pro budoucnost. *AGRObase zpravodaj*, 4(12), 14-15. https://aa.ecn.cz/img_upload/8d8825f1d3b154e160e6e5c97cf9b8b3/agrobase1904.pdf
- Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90-91. 100315. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>
- Kong, Q., Kuriyan, K., Shah, N., & Guo, M. (2019). Development of a responsive optimisation framework for decision-making in precision agriculture. *Computers & Chemical Engineering*, 131, 106585. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.10>
- Kovács, I., & Husti, I. (2018). The role of digitalization in the agricultural 4.0—how to connect the industry 4.0 to agriculture? *Hungarian agricultural engineering*, 33, 38-42. <https://doi.org/10.17676/HAE.2018.33.38>
- Liu Y., Ma X., Shu L., Hancke G. P., & Abu-Mahfouz A. M. (2020). From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(6), 4322-4334. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3003910>
- Loizou, E., Karelakis, C., Galanopoulos, K., & Mattas, K. (2019). The role of agriculture as a development tool for a regional economy. *Agricultural Systems*, 173, 482–490. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.04.002>
- Monteleone, S., de Moraes, E. A., & Maia, R. F. (2019). Analysis of the variables that affect the intention to adopt Precision Agriculture for smart water management in Agriculture 4.0 context. In *Global IoT Summit (GloTS)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/giots.2019.8766384>
- MPO. (2021a). *Zpráva o vývoji podnikatelského prostředí v České republice v roce 2020. Příloha 1 Strategie podpory malých a středních podniků v České republice pro období 2021-2027*. Dostupné 1. 09. 2022 z https://www.mpo.cz/assets/cz/podnikani/regulace-podnikani-a-snizovani-administrativni-zateze/snizovani-administrativni-zateze-podnikatelu/2022/1/Zprava-o-PP_2020.pdf
- MPO. (2021b). *STRATEGIE PODPORY MALÝCH A STŘEDNÍCH PODNIKŮ V ČESKÉ REPUBLICE PRO OBDOBÍ 2021–2027. PŘÍLOHA 1 ANALÝZA SEGMENTU MSP V ČR DLE KLÍČOVÝCH OBLASTÍ*. Dostupné 2. 09. 2022 z https://www.mpo.cz/assets/cz/podnikani/male-a-stredni-podnikani/studie-a-strategicke-dokumenty/2021/3/Priloha_1_Analyza-segmentu-MSP-v-CR-dle-klicovych-oblasti.pdf
- Isaac, W., Na, A., Varshney, S., & Khan, E. (2016). An IoT based system for remote monitoring of soil characteristics. In *Proceedings of the 2016 International Conference on Information Technology (InCITe) - The Next Generation IT Summit on the Theme - Internet of Things: Connect Your Worlds* (s. 316–320). IEEE. <https://doi.org/10.1109/INCITE.2016.7857638>
- Pierce, F. J., & Nowak, P. (1999). Aspects of precision agriculture. *Advances in agronomy*, 67,1-85. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60513-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60513-1)

- Raj, M., Gupta, S., Chamola, V., Elhence, A., Garg, T., Atiquzzaman, M., & Niyato, D. (2021). A survey on the role of Internet of Things for adopting and promoting Agriculture 4.0. *Journal of Network and Computer Applications*, 187, 103107. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103107>
- Rapela, M. A. (2019). *Fostering Innovation for Agriculture 4.0. A Comprehensive Plant Germplasm System*. Springer Cham.
- Rose, D. C. & J. Chilvers (2018) Agriculture 4.0: broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 1–7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00087>
- Rose, D. C., Wheeler, R., Winter, M., Lobley, M., & Chivers, C.-A. (2021). Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet. *Land Use Policy*, 100, 104933. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104>
- Scuderi, A., La Via, G., Timpanaro, G., & Sturiale, L. (2022). The Digital Applications of “Agriculture 4.0”: Strategic Opportunity for the Development of the Italian Citrus Chain. *Agriculture*, 12(3), 400; <https://doi.org/10.3390/agriculture12030400>
- Shamshiri, R. R., Weltzien, C., Hameed, A. I., Yule, I. J., E. Grift, T., Balasundram, S. K.; Pitonakova, L., Desa, A., & Chowdhary, G. (2018). Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(4), 1-14. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181104.4278>
- Silveira, F., Lermen, F. H., & Amaral, F. G. An overview of agriculture 4.0 development: Systematic review of descriptions, technologies, barriers, advantages, and disadvantages. *Computers and Electronics in Agriculture*, 189(C), 106405. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106405>
- Singh, G., & Yogi, K. K. (2022). Internet of Things-Based Devices/Robots in Agriculture 4.0. In P. Karrupusamy, V. E. Balas., & Y. Shi (Eds.), *Sustainable Communication Networks and Application Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies* (s. 87-102). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6605-6_6
- Straková, J., Váchal, J., Vochozka, M., Caha, Z., Pártlová, P., Vaničková, R., Urban, J., & Bílek, S. (2020). *Malé a střední podniky v ČR – současnost a vize*. Grada Publishing.
- Tahat, M. M., Alananbeh, K. M., Othman, Y. A., & Leskovic, D. I. (2020). Soil Health and Sustainable Agriculture. *Sustainability*, 12(12), 4859. <https://doi.org/10.3390/su12124859>
- Talavera, J. M., Tobón, L. E., Gómez, J. A., Culman, M. A.; Aranda, J. M.; Parra, D. T.; Quiroz, L. A.; Hoyos, A.; & Garreta, L. E. (2017). Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields. *Computers Electronics in Agriculture*, 142, 283–297. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.015>
- Yahya, N. (2018). *Green Urea For Future Sustainability*. Springer.
- Wiseman, L., Sanderson, J., Zhang, A., & Jakku, E. (2019). Farmers and their data: An examination of farmers’ reluctance to share their data through the lens of the laws impacting smart farming. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 90-91, 100301. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.04.007>
- Zambon, I., Cecchini, M., Egidi, G., Saporito, M. G., & Colantoni, A. (2019). Revolution 4.0: Industry vs. Agriculture in a Future Development for SMEs. *Processes*, 7(1), 36. <https://doi.org/10.3390/pr7010036>
- Zhai, Z., Martínez, J. F., Beltran, V., & Martínez, N. L. (2020). Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105256. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256>